BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri konstruksi saat ini semakin berkembang dan menuntut inovasi untuk meningkatkan kinerja material. Salah satu material yang kini mendapatkan perhatian adalah bata ringan. Bata ringan merupakan hasil inovasi dalam pengembangan beton ringan *(lightweight concrete)* yang menawarkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan bata merah. Bata ringan dengan berat volume lebih ringan, yaitu sekitar 500-1600 kg/m^3, bata ringan terbuat dari campuran semen, pasir, air dan *foam agent* yang diaduk dalam mixer. Bata ringan ini tersedia dalam berbagai ukuran dan variasi sesuai kebutuhan (Suryanita, 2020). Kekuatan bata ringan sangat bergantung pada proses pembuatannya, yang dipengaruhi oleh komposisi bahan dasar.

Untuk memperoleh mutu bata ringan yang optimal, salah satu metode yang dapat dilakukan adalah dengan rekayasa campuran tambahan, seperti penambahan bahan *additive*. Salah satu bahan *additive* yang dapat digunakan dalam proses ini adalah *silica fume*. *Silica fume* bekerja dengan mengisi rongga-rongga di antara campuran semen, yang berkontribusi pada peningkatan kuat tekan beton (Suryanita, 2020). Sifat pozzolanik dari *silica fume* dan kemampuannya untuk mengisi pori-pori disebabkan oleh karakteristik fisiknya (Yue et al., 2022). Penggunaan *silica fume* pada campuran beton berpori mampu meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur dari beton berpori tersebut (Widnyana et al., 2018).

Meskipun penelitian sebelumnya menunjukkan indikasi positif terhadap penggunaan *silica fume* pada bata ringan, namun masih ada beberapa tantangan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah pemahaman mendalam tentang bagaimana *silica fume* mempengaruhi sifat mekanik bata ringan secara spesifik. Selain itu, pengaruh variabel lain seperti komposisi campuran, proses pembuatan, dan kondisi lingkungan perlu diteliti secara menyeluruh.

Penelitian ini sangat relevan dalam konteks industri konstruksi Indonesia, dimana bata ringan banyak digunakan sebagai material konstruksi. Dengan memahami pengaruh penambahan *silica fume* terhadap mekanis bata ringan, dapat dibuka peluang untuk mengoptimalkan komposisi campuran dan proses produksi guna meningkatkan performa material. Hal ini dapat membantu industri konstruksi untuk menghasilkan bata ringan yang lebih kuat, tahan lama, dan ramah lingkungan. Selain itu, penggunaan limbah industri, seperti *silica fume*, juga dapat mendukung prinsip keberlanjutan dalam industri konstruksi.

Berdasarkan dari latar belakang di atas maka dari itu peneliti mengangkat judul penelitian yaitu **"Pengaruh Penambahan *Silica Fume* Terhadap Perilaku Mekanik Bata Ringan"** yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari penambahan *silica fume* terhadap perilaku mekanis pada bata ringan.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan *silica fume* terhadap kuat tekan pada bata ringan dengan komposisi 0%, 8%, 10% dan 12%?
2. Bagaimana nilai kuat lentur untuk penambahan *silica fume* pada bata ringan dalam umur 28 hari?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *silica fume* terhadap kuat tekan pada bata ringan dengan komposisi 0%, 8%, 10% dan 12%.
2. Untuk mengetahui nilai kuat lentur untuk penambahan *silica fume* pada bata ringan dalam umur 28 hari.

D. Batasan Masalah

Untuk mengantisipasi terjadi pembahasan diluar masalah, oleh karena itu diberi batasan masalah sebagai berikut:

1. Komposisi dari bata ringan selular *(cellular lightweight concrete)* dalam penelitian ini adalah semen, agregat halus (pasir), air, *foam agent*, dan bahan tambah aditif *silica fume*.
2. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen jenis PCC *(Portland Composite Cement)* sesuai sesuai standar *(SNI 15-7064-2004)*.
3. Dalam penelitian ini yang digunakan adalah bahan aditif *silica fume*.
4. Variasi bahan aditif *silica fume* terhadap berat semen yang digunakan yaitu 0%, 8%, 10%, dan 12%.
5. Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan pada umur 28 hari untuk berbentuk kubus dan uji kuat lentur pada umur 28 hari untuk berbentuk balok.
6. Jumlah bata ringan berbentuk kubus yang akan dibuat adalah 40 sampel. Sedangkan bata ringan berbentuk balok yang akan dibuat adalah 8 sampel. Jadi jumlah keseluruhan bata ringan yang akan dibuat adalah 48 sampel.
7. Jenis *foam agent* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *foam agent* jenis MAXX 102 CLC.

8. Persentase pencampuran *foam agent* (CLC) adalah 1 banding 40 dari pembuatan 1 benda uji 10 ml *foam agent* 400 ml air.
9. Jenis bata ringan yang yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah bata ringan selular *(cellular lightweight concrete)*.
10. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di laboratorium struktur dan bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Parepare.

E. Manfaat Penelitian

1. Sebagai referensi dunia ilmu pengetahuan
2. Menghasilkan bata ringan dengan kekuatan maksimal yang melebihi standar kriteria bata ringan dengan pencampuran bahan material yang ramah lingkungan menggunakan *silica fume*.
3. Penambahan *silica fume* yang bersifat pozzolan dapat mengisi pori-pori dari bata ringan sehingga dapat menghasilkan bata ringan dengan kekuatan tinggi.
4. Sebagai alternatif bahan material baru dalam pelaksanaan konstruksi pada bangunan sipil.
5. Sumber literatur baru untuk pengembangan teknologi bata ringan selular selanjutnya.

F. Sistematika Penulisan

Penulisan ini dilakukan secara sistematik yang dirangkum dalam bebrapa bab sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, identifikasi masalah, Batasan masalah, rumusan masalah, tujuan, manfaat serta sistematika skripsi.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori secara singkat dan gambaran umum mengenai bata ringan, bahan penyusun bata ringan dan kajian hasil penilitian terdahulu.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang waktu dan tempat penelitian, desain penelitian, populasi dan sampel penelitian, variabel penelitian, teknik pengumpulan data, bagan alur penelitian, prosedur pengujian, tahap penelitian, analisis data dan hasil akhir.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil pemeriksaan bahan, hasil rencana adukan bata ringan, hasil pengujian bata ringan dan produk yang dihasilkan.

BAB V: PENUTUP

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil pembahasan mengenai berat volume, kuat tekan dan kuat lentur bata ringan serta saran yang merekomendasikan permasalahan yang ada.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Bata Ringan

Bata ringan adalah inovasi yang dikembangkan dari bata merah konvensional, yang dianggap tidak ekonomis karena ukurannya yang kecil dan proses pemasangannya yang memakan waktu. Sebenarnya, bata ringan sudah digunakan di Swedia sejak tahun 1923 sebagai solusi material bangunan untuk mengurangi deforestasi. Selanjutnya, pada tahun 1943, Joseph Hebel mengembangkan bata ringan lebih lanjut di Jerman dan di Indonesia, bata ringan mulai dikenal sejak tahun 1995 (Felix, 2010).

Bata ringan adalah jenis bata beton dengan densitas lebih rendah dibandingkan bata beton biasa. Keunggulan utama bata ringan terletak bobotnya yang ringan, yang membantu mengurangi beban total pada struktur bangunan, terutama pada proyek bangunan tinggi. Umumnya, berat jenis bata ringan berkisar antara 600 hingga 1600 kg/m^3 (Pratama et al., 2019). Oleh karena itu, keunggulan bata ringan utamanya ada pada berat, sehingga apabila digunakan pada proyek bangunan tinggi (*high rise building*) dapat secara signifikan mengurangi berat sendiri.

Secara umum, terdapat dua jenis bata ringan yaitu *Aerated Lightweight Concrete* (ALC), yang juga dikenal sebagai *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dan *Celullar Lightweight Concrete* (CLC). Bata ringan AAC adalah beton selular dimana gelembung udara terbentuk melalui reaksi kimia, mirip dengan proses

pembuatan roti dimana bubuk aluminium atau aluminium pasta menyebabkan adonan mengembang. Di sisi lain, bata ringan CLC adalah beton selular yang melalui proses perawatan alami, menggunakan busa organik yang stabil tanpa melibatkan reaksi kimia dalam campuran adonan (Bella et al., 2017).

B. Jenis Bata Ringan

1. Bata Ringan Jenis *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC)

Bata ringan AAC merupakan proses pembentukan gelembung udaranya didasarkan pada reaksi kimia, yaitu pengembangan bubuk aluminium atau pasta aluminium, seperti dalam pembuatan roti, saat ragi ditambahkan untuk mengembangkan adonan. Pada adonan bata ringan jenis AAC biasanya terdiri dari pasir kwarsa, kapur, *gypsum*, semen, air, dan alumunium pasta.

Saat semua adonan tercampur, kemudian akan mengembang sekitar 4-6 jam. Pasta aluminium juga berfungsi sebagai pengeras beton. Volume pasta aluminium ini adalah 5-8 % dari volume campuran yang bakal dibentuk. Adonan kemudian dipotong sesuai ukuran yang diinginkan dan dimasukkan ke dalam ruang *autoclave chamber* atau ditambahkan dengan uap panas dan tekanan tinggi. Suhu ruang autoklaf sekitar 180℃-200℃ dan tekanannya 1,5-1,6 MPa. Ini terjadi sebagai proses pengeringan.

Pada jenis AAC ini, gelembung-gelembung udara yang terbentuk pada beton udara jenis ini saling terhubung satu sama lain sehingga air mudah terserap, sehingga harus ditutup dengan pelindung kedap air seperti plaster. Tabung autoklaf bertekanan tinggi digunakan dalam proses pengeringan *(curing)* jenis ini untuk mencapai nilai kuat tekan yang tinggi. Namun proses pengerasan juga dapat

mengganggu proses hidrasi semen. Oleh karena itu, bata ringan jenis AAC ringan harus dilindungi dari kelembaban.

Proses produksi bata ringan jenis AAC berbeda dengan proses produksi jenis CLC, serta peralatan yang rumit dan modal yang relatif besar, namun kapasitas yang dihasilkan cukup besar yaitu sebesar 300 m^3 per hari.

Karakteristik bata ringan jenis AAC terlihat lebih putih. Hal ini dikarenakan pada saat proses pembuatan bata ringan jenis AAC menggunakan bahan aluminium pasta sebagai pewarna putih dari bata tersebut.

Gambar 2. 1 Bata ringan Jenis AAC
Sumber: Bata ringan (www.jualbataringan.com)

2. Bata Ringan Jenis *Celullar Lightweight Concrete* (CLC)

Bata ringan jenis CLC merupakan bata ringan dengan proses pengerasan alami. Bata ringan CLC adalah beton tipe konvensional dimana agregat kasar telah diganti dengan busa gelembung udara. Peralatan yang digunakan dalam jenis produksi ini adalah alat standar, sehingga produksinya dapat dengan mudah dilakukan hanya pasir, *foam agent,* semen dan air. Berat spesifik yang diinginkan dapat diatur antara 350 kg/m^3 sampai 1800 kg/m^3 dan nilai kekuatan antara 1,5 dan lebih dari 30 N/mm^2. Bata ringan jenis CLC ini sama dengan beton biasa, yaitu semakin lama semakin meningkat kekuatannya. Walaupun jenis bata ringan ini

tidak seringan tipe AAC. Jenis CLC ini masih mengurangi berat secara signifikan dibanding dengan beton pada umumnya.

Karakteristik bata ringan jenis CLC terlihat lebih kusam dibanding bata ringan jenis AAC. Hal ini dikarenakan pada saat proses produksi tidak ditambahkan bahan aluminium pasta, sehingga warna kusam yang dihasilkan dari bata ringan jenis ini berasal dari campuran semen.

Gambar 2. 2 Bata ringan jenis CLC
Sumber: Definisi bata ringan (www.mesinbata.com)

C. Material Penyusun Bata Ringan

Untuk mendapatkan bata ringan yang berkualitas baik, perlu diperhatikan bahan pembuatnya. Material yang digunakan berpengaruh signifikan terhadap kualitas bata ringan yang dihasilkan. Material penyusun bata ringan antara lain:

1. Semen Portland

Semen Portland adalah semen yang umum digunakan dalam bidang konstruksi seperti: pekerjaan beton, bata ringan, pekerjaan jalan, pekerjaan jembatan, beton pracetak, dan lainnya. Dalam teknologi bahan, semen portland merupakan komponen utama yang berfungsi, bersama dengan air, untuk mengikat dan menyatukan agregat menjadi masa padat. Untuk mendapatkan bata ringan yang

sesuai dengan yang direncanakan maka perlu adanya pengawasan terhadap mutu bahan yang digunakan (Salain, 2009).

Berdasarkan *SNI 15-2049-2004* semen portland adalah suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozzolan halus. Semen portland di produksi dengan cara menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, di mana kadar pozzolan 6 % sampai dengan 40 % dari massa semen portland pozzolan. Pozzolan merupakan bahan yang mengandung silika dan alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen. Pozzolan memiliki bentuk yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen.

Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu masa yang padat serta mempunyai kekuatan yang cukup. Semen dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu: semen hidrolis dan semen non-hidrolis.

Semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air. Contohnya seperti semen portland, semen putih dan sebagainya, sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air, contohnya adalah kapur (Andriani et al., 2012).

Berdasarkan *SNI 15-2049-2004* Semen dibagi menjadi lima jenis yaitu:

a. Tipe I *(normal portland cement)*, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada semen jenis lain.

b. Tipe II *(high early strength portland cement)*, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
c. Tipe III *(modified portland cement)*, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
d. Tipe IV *(low heat portland cement)*, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi yang rendah.
e. Tipe V *(sulfate resisting portland cement)*, yaitu semen portland untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

2. Agregat Halus

Agregat halus atau pasir diartikan sebagai butiran mineral yang bentuknya mendekati bulat dengan ukuran butiran lebih kecil dari 4,75 mm atau lolos saringan no. 4 standar (ASTM, C33-03-2002). Karakteristik agregat halus yang digunakan untuk pembuatan bata ringan harus diketahi terlebih dahulu dengan cara pengujian propertis agregat halus. Hal ini dilakukan agar dapat dilakukan perhitungan *mix design* dengan kuat tekan yang direncanakan. Pengujian propertis agregat halus dapat dilakukan dengan beberapa pemeriksaan seperti kadar lumpur, kadar organik, kadar air, berat volume, berat jenis serta analisa saringan.

Persyaratan agregat halus secara umum adalah sebagai berikut:

1. Kadar zat organik yang terkandung ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium hidrosikda (NaOH) 3%. Dibandingkan dengan standar warna No.3

2. Butir-butir halus bersifat kekal. Jika memakai natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10% dari berat, sedangkan memakai magnesiuam sulfat yang hancur maksimum 15% dari berat.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), sedangkan kadar lumpur melebihi 5% pasir harus dicuci.

Agregat halus berfungsi sebagai pengisi dalam campuran mortar bata ringan. Agregat halus akan bekerjasama dengan air dan semen membentuk suatu masa yang keras. Agregat yang mengandung banyak lumpur dapat menyebabkan nilai kuat tekan menurun, karena kadar lumpur yang berlebih menyebakan daya lekat antara agregat dan pasta semen menjadi berkurang (Purwanto et al., 2012).

Adapun batas gradasi agregat halus yang baik dalam perencanaan beton tertera pada Tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2. 1 Gradasi agregat halus *(Sumber: SNI 03-6820-2002)*

Saringan	Maksimum	Minimum
No. 4 (4,76 mm)	100	---
No. 8 (2,36 mm)	99	100
No. 16 (1,18 mm)	60	90
No. 30 (600 mm)	35	70
No. 50 (300 mm)	10	30
No. 100 (150 mm)	0	5
No. 200 (75 mm)	0	3

3. Air

Air merupakan faktor yang penting dalam pembuatan bata ringan. Reaksi air dan semen akan menghasilkan pasta semen yang berfungsi sebagai pengikat dan

berlangsungnya proses pengerasan. Selain berperan penting dalam pembuatan bata ringan, air juga berperan dalam proses perawatan bata ringan, air akan meredam panas hidrasi semen sehingga meminimalisir timbulnya retakan.

Perbandingan air dan semen dalam pembuatan bata ringan juga harus diperhatikan, karena sangat berpengaruh terhadap kekuatan dari bata ringan tersebut. Apabila air lebih banyak daripada semen maka akan membuat kekuatan bata ringan tersebut menurun, dan apabila air lebih sedikit daripada semen makan akan membuat kesulitan dalam proses pengadukannya dan akan menyababkan bata ringan yang dihasilkan memiliki kekuatan yang rendah. Persyaratan air sesuai SNI 03-2847-2002 berikut ini:

1. Tidak mengandung lumpur (atau benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

4. *Foam Agent*

Foam agent adalah larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air yang merupakan larutan koloid.

Penggunaan *foam generator* dihasilkan *foam* yang stabil sehingga sangat cocok digunakan untuk bata ringan. *Foam* yang ditambahkan kedalam campuran mortar bata harus dikontrol untuk mendapatkan densitas yang diinginkan. Dengan menambahkan *foam* kedalam campuran mortar bata maka dapat meningkatkan

volume mortar bata ringan tanpa menambah berat dari mortar bata itu sendiri (Dika et al., 2019).

Foam agent terdapat 2 jenis yaitu berbahan dasar sintetis dan berbahan dasar protein. *Foam* berbahan dasar sintetis memiliki kepadatan sekitar 40 kg/m^3 dan dapat mengembang sekitar 25 kali dari volume awal. *Foaming agent* jenis ini sangat stabil untuk bata dengan kepadatan diatas 1000 kg/m^3. *Foaming agent* ini dapat bertahan hingga 16 bulan dalam keadaan tertutup. Perbandingan *foam* dan air yaitu 1:19. 20 liter *foam* dapat mengembang menjadi sekitar 500 liter *foam* yang stabil dengan berat sekitar 40 kg/m^3. Foam berbahan dasar protein yang didapat dari bahan-bahan alami memiliki berat sekitar 80 kg/m^3 dan dapat mengembang sekitar 12,5 kali dari volume awal. *Foam* ini relatif lebih stabil dan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan foam sintetis. Tetapi *foam* ini hanya dapat bertahan hingga 12 bulan dalam keadaan terbuka. Perbandingan *foam* dan air yaitu 1:33 sampai 1:39. 40 liter *foam* dapat mengembang menjadi sekitar 500 liter *foam* yang stabil dengan berat sekitar 80 kg/m^3 (Taufik et al., 2017).

5. Bahan Tambah

Bahan tambah *(admixture)* adalah bahan tambah yang ditambahkan ke dalam campuran beton sebagai pengganti atau subtitusi dari campuran beton itu sendiri. Menurut ASTM C.125-1995:61, *"Standard Definition of Terminology Relating to Concrete and Concrete Agregates"* dan dalam ACI SP-19, *"Cement and Concrete Terminology"*, *admixture* didefinisikan sebagai material selain air, agregat, dan semen hidrolik yang dicampur dengan beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah

digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk kemudahan pengerjaan atau untuk lain yaitu penghematan energi.

Bahan tambah *(admixture)* terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu bahan tambah yang mempunya sifat kimiawi *(chemical Admixture)* dan bahan tambah yang bersifat mineral *(additive)*.

Berdasarkan tujuan penggunaan bahan tambah kimia *(chemical admixture)* antara lain:

a. *Water Reducer* merupakan bahan tambah kimia untuk mengurangi penggunaan air pada proses pencampuran beton.
b. *Retarder* merupakan bahan tambah kimia pada beton untuk memperlambat proses ikatan pada beton.
c. *Accelerator* merupakan bahan tambah kimia yang digunakan untuk mempercepat ikatan dan pengerasan pada beton.
d. *Water Reducer & Retarder* merupakan bahan tambah yang mempunyai fungsi ganda untuk mengurangi penggunaan air dan memperlambat proses pengikatan pada beton.
e. *Water Reducer & Accelerator* merupakan bahan tambah yang mempunyai fungsi ganda untuk mengurangi penggunaan air dan mempercepat proses pengerasan pada beton.
f. *Superplasticizer (Water Reducer & High Range)* merupakan bahan tambah yang berfungsi sebagai pengencer campuran dengan faktor air semen tetap.

g. *Water Reducer & High Range & Retarder* bahan tambah mempunyai fungsi ganda untuk mengurangi penggunaan air dengan faktor air semen tetap dan dapat memperlambat proses pengerasan dan ikatan pada beton.

Bahan tambah bersifat mineral *(additive admixture)* merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton dan biasanya dapat digunakan untuk menggantikan sebagian bahan semen. Bahan tambah mineral antara lain seperti pozzolan, *fly ash*, *slag*, dan *silica fume*.

D. *Silica Fume*

1. Definisi *Silica Fume*

Silica Fume adalah hasil produksi sampingan dari proses peleburan (reduksi kuarsa dengan kemurnian tinggi dengan batu bara dalam tungku listrik) dalam pembuatan campuran silikon atau ferrosilikon.

Penggunaan *silica fume* sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton porous secara umum dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton porous karena meningkatkan bonding atau daya ikat antar agregat (Widyastana, 2018).

Ditinjau dari sifat mekanik, secara geometrikal *silica fume* mengisi rongga-rongga di antara bahan semen. Pengisian rongga-rongga dalam beton ini berdampak pada peningkatan kuat tekan beton secara signifikan. *Silica fume* bersifat pozzolan sehingga akan bereaksi dengan $Ca(OH)_2$ yang merupakan residu dari reaksi semen dan air semen menghasilkan $C_3S_2H_3$. $C_3S_2H_3$ inilah yang merupakan sumber kekuatan beton (Afif, 2013). Selain itu *silica fume* juga memberikan beberapa efek lain campuran beton basah dan beton keras.

2. Sifat Kimia

Sifat kimia s*ilica fume* didominasi oleh SiO_2 dengan persentase diatas 85% dan sisanya terdiri dari senyawa-senyawa lain. Untuk lebih jelasnya, komposisi kimia yang terkandung dalam *silica fume* tertera pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia *Silica Fume (Sumber: ASTM-C1240-20)*

Senyawa	Berat dalam persen
SiO_2	85,0
Fe_2O_3	1,4
Al_2O_3	0,5
MgO	0,3
Na_2O	0,3
KO_2	0,7
CaO	0,5

3. Sifat Fisik

Pada umunya, sifat fisik *silica fume* adalah memiliki warna abu-abu dan bersifat *amorphous* (reaktif dan tidak terkristalisasi). Sifat fisik utama *silica fume* ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Diameter rata-rata *silica fume* adalah sekitar 0,1 mikrometer, yaitu 100 kali lebih kecil daripada partikel semen. Hasil pengujian porosi meter yang menggunakan metode penyerapan merkuri, diperoleh distribusi ukuran median adalah 8,53 mikrometer, jari-jari pori rata-rata sebesar 0,13 mikrometer, dan luas permukaan spesifik yang sangat tinggi 216,0 m^2/g. Kandungan silika (SiO_2) sangat tinggi 93,09%, ketentuan ASTM C 1240 mensyaratkan minimal sebesar 85%. Penggunaan *silica fume* selalu bersamaan dengan *High Range Water Reducer*

(Superplasticizer). Karena adanya penggunaan air pada bahan beton dan adanya bahan *silica fume* yang mengisi pori-pori serta bersifat pozzolan ini, maka mengakibatkan beton menjadi kedap, awet, dan berkekutan tinggi. Dengan adanya *silica fume* daerah agregat matriks transisi lebih padat dan kuat sehingga hubungan antara semen pasta dan agregat menjadi lebih kompak, agregat dan pasta merupakan kesatuan struktur komposit yang cukup solid dan kuat.

Tabel 2. 3 Sifat Fisik *Silica Fume (Sumber : Chung, 2019)*

Sifat Fisik	Penjelasan
Ukuran partikel (khas)	< 1 μm (1/100 diameter semen)
Warna	Abu-abu gelap
Berat isi *(Bulk Density)*	200-300 kg/m^3
Berat jenis	2,2
Permukaan spesifik	15000 hingga 30000 kg/m^2

4. Keuntungan penggunaan *Silica Fume*

Keuntungan dalam penggunaan *silica fume* dapat ditinjau pada dua kondisi berikut:

1. Saat beton dalam proses pengikatan:
    a) Memudahkan pengerjaan *(workability)*
    b) Mengurangi perembesan air dan beton *(bleeding)*, dan
    c) Memberikan waktu pengikatan *(setting time)* yang lama.
2. Saat beton dalam kondisi keras:
    a) Meningkatkan kuat Tarik
    b) Meningkatkan kuat lentur
    c) Memperkecil susut dan rangkak

d) Meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan dari lingkungan agresif

e) Sebagai penetrasi klorida

f) Permeabilitas lebih kecil, dan

g) Ketahanan terhadap keausan tinggi.

Keuntungan fisik yang diperoleh dari partikel *silica fume* yang halus untuk menempati ruang yang sangat rapat dengan partikel agregat dengan adonan semen yang merupakan daerah kelemahan dari beton yang merupakan alasan timbulnya efek dinding yang mencegah bersatunya semen Portland dengan permukaan agregat. Bagian ini yang nantinya akan diisi oleh partikel dari *silica fume* yang sangat halus sehingga air tidak terperangkap didalam partikel padat sehingga sifat menyerap dari daerah bidang pemisah agregat lebih kecil dibanding dengan tanpa *silica fume*.

Penggunaan *silica fume* dengan jumlah yang rendah (dibawah 5% dari berat semen) tidak menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dari beton karena jumlah *silica fume* tidak akan mencukupi untuk menutupi permukaan seluruh partikel dari agregat kasar, namun penggunaan *silica fume* yang menguntungkan juga terbatas tidak lebih dari 10% dari berat semen yang digunakan, hal ini disebabkan oleh penggunaan *silica fume* yang berlebih tidak akan dapat menutupi permukaan agregat menurut Naville (Kusumo, 2013).

E. Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton

yang dihasilkan (Arman, 2018). Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm dan diameter 150 mm.

Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi *(fc')* yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Sumajouw et al., 2018).

Rumus yang digunakan pada persamaan (1) untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad \text{.....(1)}$$

Dimana:

$f'c$ = Kuat Tekan Beton (Mpa)

P = Gaya Tekan (N)

A = Luas penampang beton (mm^2)

F. Kuat Lentur

Kuat Lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah dinyatakan dalam *Mega Pascal (MPa)* gaya per satuan luas *(SNI 4431:2011).*

Perhitungan kuat lentur beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) sebagai berikut:

$$\sigma_l = \frac{Pa}{bh^2} \quad \text{.....(2)}$$

Dimana:

σ_l = Kuat lentur (Mpa)

P = Beban uji maksimum yang terbaca pada mesin uji (pembacaan dalam ton sampai 3 angka di belakang koma)

L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

a = Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 (empat) tempat sudut dari bentang (mm)

h = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

G. Penelitian Terdahulu

1. Tarru, (2018) melakukan penelitian tentang Studi Penggunaan *Silica Fume* sebagai Bahan Pengisi (Filler) pada Campuran Beton.

   Penelitian ini membandingkan sampel beton yang dibuat dalam kondisi normal dengan sampel beton yang menggunakan *silica fume* sebagai bahan pengisi pada tingkat 5%, 10% dan 15%, menggunakan metode eksperimen dengan pengujian laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tekan beton normal pada usia 28 hari adalah 37,10 MPa. Sementara itu, dengan penambahan *silica fume* sebesar 5%, kekuatan tekan beton meningkat menjadi 40,39 MPa; dengan penambahan 10%, meningkat menjadi 41,88 MPa; dan dengan penambahan 15%, meningkat menjadi 43,62 MPa.

2. Subagiono et al., (2020) melakukan penelitian tentang Perilaku Mekanik Bata Ringan dengan Penambahan *Silica Fume*.

   Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komposisi campuran optimal untuk bata ringan tipe *Cellular Lightweight Concrete* yang menggunakan *silica fume.*

Benda uji dibuat dengan ukuran 10x20x60 cm dengan variasi komposisi *silica fume* dalam 5 komposisi yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen dalam campuran. Pengujian mekanik dilakukan dengan mengukur kekuatan tekan secara merata pada bagian atas bata ringan. Instrumen pengukuran yang digunakan pada penelitian ini meliputi *load cell* untuk mengukur beban dan *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT) untuk mengukur penurunan *(displacement)* pada permukaan yang diberi beban. Data yang diperoleh dari pengujian mencakup kekuatan tekan, modulus elastisitas dan *displacement.* Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi campuran dengan penambahan *silica fume* dengan persentase 10% dari berat semen menghasilkan kuat tekan tertinggi, dengan penurunan permukaan sebesar 3,5 mm saat dibebani dan modulus elastisitas 527,62 kg/m^3.

3. Majid et al., (2018) melakukan penelitian tentang Desain Bahan Dasar Campuran Bata Ringan dari Limbah Tambang Emas Pongkor.

   bata ringan. Variasi rasio volume semen terhadap tailing yang digunakan adalah 1:2, 1:4 dan 1:6 dengan waktu pengerasan 7, 14, 21 dan 28 hari. Parameter yang diuji meliputi densitas *(dry density),* penyerapan air *(water absorption),* kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi dengan campuran 1:2 (1 semen dan 2 *tailing*) dengan waktu pengeringan selama 28 hari mempunyai hasil pengujian terbaik dan memenuhi semua persyaratan. Pada komposisi ini, bata ringan yang dihasilkan mempunyai densitas 692 kg/m^3, penyerapan air 20,81%, kuat tekan 3,77 MPa, kuat tarik belah 0,48 MPa dan kuat lentur 0,65 MPa.

4. Samsul et al., (2023) melakukan penelitian tentang Pengaruh Ukuran Butir Agregat Kasar Terhadap Kapasitas Kuat Tekan dan Nilai Slump Beton Porous. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proporsi campuran agregat kasar yang optimal untuk beton porous, dengan mempertimbangkan kuat tekan dan nilai slump. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare. Hasil penelitian ini dapat menunjukkan bahwa proporsi campuran optimum diperoleh pada variasi agregat 0,5-1 cm. Kuat tekan dengan ukuran agregat 0,5-1 cm sebesar 6,13 MPa, ukuran agregat 1-2 cm sebesar 5,47 MPa, sedangkan ukuran agregat 2-3 cm sebesar 5,00 MPa. Nilai slump dengan agregat ukuran 0,5-1 cm sebesar 196 mm, agregat ukuran 1-2 cm sebesar 192 mm, sedangkan agregat ukuran 2-3 cm sebesar 178 mm.
5. Solikin et al., (2018) melakukan penelitian tentang Analisis Sifat Mekanis Bata Beton Ringan dengan Variasi Pemakaian *Foam Agent.*

   Penelitian ini bertujuan mengetahui sifat beton segar dan sifat mekanis beton ringan yang telah mengeras, pemakaian *foam agent*, dan berat volume beton ringan. Benda uji yang digunakan yaitu uji kubus dimensi 15x15x15 cm untuk uji kuat tekan, bata beton dimensi 39x9x10 cm untuk uji berat volume dan serapan air, dan balok lentur dimensi 60x15x15 cm untuk uji kuat lentur. Hasil penelitian sifat beton segar normal menggunakan uji *slump* dan beton dengan variasi pemakaian foam agent menggunakan uji *slump flow T50* telah memenuhi persyaratan sesuai peraturan yang berlaku. Berat volume rata-rata bata beton memenuhi syarat sebagai bata beton ringan sesuai peraturan yang

berlaku yaitu kurang dari 1.900 kg/m^3. Uji sifat mekanis diperoleh kuat tekan untuk setiap variasi pemakaian *foam agent* 0 liter, 400 liter, 500 liter, 600 liter adalah 18,30 MPa, 10,59 MPa, 4,18 MPa, dan 3,39 MPa dan kuat lentur untuk setiap variasi pemakaian *foam agent* 0 liter, 400 liter, 500 liter, 600 liter adalah 7,14 MPa, 5,54 MPa, 3,37 MPa, dan 1,95 MPa.

6. Karijanto et al., (2017) melakukan penelitian tentang Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan dan Tarik Perekat Bata Ringan.

   Dalam penelitian ini penulis bertujuan mengganti semen dengan *fly ash* pada berbagai persentase untuk menguji apakah penggunaan *fly ash* dapat menghasilkan hasil yang lebih baik dan lebih ekonomis. Data dianalisis menggunakan uji tekan *(compressive test)* dan uji tarik lepas *(pull off test).* Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* sebanyak 30% memberikan performa yang lebih baik dan lebih ekonomis dibandingkan dengan perekat bata ringan standar yang tidak menggunakan *fly ash*.

7. Sutriono et al., (2018). Melakukan penilitian tentang Pengaruh *Silica Fume* sebagai Subtitusi Semen terhadap Nilai Resapan dan Kuat tekan Mortar.

   Penilitian ini mengevaluasi variasi persentase *silica fume* sebesar 0%, 5%, 10%, 12% dan 15%. Hasil pengujian menunjukkan nilai penyerapan terendah, yaitu 3,276% diperoleh pada campuran dengan 15% *silica fume,* sementara kekuatan tekan tertinggi, yaitu 312,574 kg/cm^2 diperoleh pada campuran dengan 8% *silica fume*.

8. Zulapriansyah et al., (2020) melakukan penelitian tentang Komposisi Optimal Campuran Bata Ringan *Silica Fume* Berdasarkan Kuat Tekan.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan campuran terbaik untuk bata ringan seluler dengan penambahan *silica fume,* dengan mengukur kekuatan tekan pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Terdapat 5 variasi komposisi bata ringan berdasarkan persentase *silica fume* terhadap jumlah semen yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi dengan 1% *silica fume* dari berat semen menghasilkan kekuatan tekan tertinggi pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari, dengan nilai kekuatan tekan berturut-turut adalah 0,35 MPa, 0,57 MPa, 0,77 MPa, 0,83 MPa dan 0,87 MPa.

9. Trinugroho et al., (2015) melakukan penelitian tentang Pemanfaatan *Foam Agent* dan Material Lokal dalam Pembuatan Bata Ringan.

   Penelitian ini bertujuan meningkatkan kekuatan bata ringan dengan menambahkan *foam agent* ke dalam campuran bata ringan dengan variasi volume 0 lt/m³, 0,6 lt/m³, 0,8 lt/m³ dan 1,0 lt/m³ dari total volume bata ringan sebelum pencampuran. Semua sampel dirawat dengan perendaman selama 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bata ringan dengan penambahan *foam agent* 0,6 lt/m³ dan menggunakan pasir kuarsa memiliki kekuatan tekan rata-rata tertinggi sebesar 4,02 MPa. Untuk kekuatan tarik belah, bata ringan dengan penambahan *foam agent* 0,6 lt/m³ dan pasir woro menunjukkan nilai 0,34 MPa, sedangkan kekuatan lentur pada bata ringan dengan penambahan *foam agent* 0,6 lt/m³ dan pasir woro mencapai 0,738 MPa.

10. Sujatmiko et al., (2016) melakukan penelitian tentang Pemanfaatan Limbah *Styrofoam* untuk Bahan Bata Ringan Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak komposisi *Styrofoam* terhadap kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah, serta untuk menemukan komposisi yang optimal. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan campuran bahan berupa pasir silika, semen, *foam agent*, dan limbah *Styrofoam*. Variasi komposisi *Styrofoam* yang diuji meliputi STR 0%, STR-10%, STR-20%, STR-30% dan STR-40%, dengan perbandingan semen dan pasir sebesar 1:4. Kesimpulan dari penelitian menunjukkan bahwa campuran dengan komposisi *Styrofoam* STR-20% menghasilkan kekuatan tekan optimum sebesar 2,358 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *Styrofoam* pada komposisi STR-20% memberikan manfaat signifikan bagi lingkungan dengan mengurangi limbah. Selain itu, kekuatan tarik belah optimum ditemukan pada persentase STR-10% setelah 28 hari, dengan nilai 0,259 MPa.

BAB III

METODOLOGI PENILITIAN

A. Data Penilitian

1. Data primer

Data primer adalah informasi yang diperoleh langsung dari lapangan atau lokasi penelitian, yang didokumentasikan menggunakan kamera untuk mengumpulkan data visual dari lokasi tersebut.

2. Data sekunder

Data sekunder adalah adalah informasi yang diperoleh melalui studi literatur seperti buku untuk mencari teori yang relevan dengan topik penelitian, serta jurnal karya ilmiah yang digunakan untuk mempelajari karya ilmiah yang terkait dengan efek penambahan *silica fume* dalam pembuatan bata ringan. Selain itu, data sekunder juga dapat diperoleh dari majalah dan internet, termsuk jurnal online dan berita yang membahas pengaruh penambahan *silica fume* pada bata ringan.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini berlangsung selama sekitar 4 (empat) bulan, dimulai sejak bulan April sampai dengan bulan Juli 2024.

Tabel 3. 1 Jadwal pelaksanaan penelitian

NO	JENIS KEGIATAN	Bulan 2024			
		April	Mei	Juni	Juli
1	Studi literatur				
2	Persiapan labolatorium				
3	Pengujian bahan dasar				
4	Pembuatan benda uji				
5	Uji kuat tekan				
6	Uji kuat lentur				
7	Analisa hasil pengujian				

C. Metode Penilitian

Metode penilitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan teknik eksperimental, dimana penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku mekanis dalam penambahan *silica fume* pada bata ringan. Pengujian yang akan dilakukan meliputi pengujian kuat tekan dan kuat lentur. Diharapkan penelitian ini akan menghasilkan bata ringan dengan kualitas yang lebih baik dan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

D. Alat dan Bahan

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian tentang pemanfaatan *silica fume* sebagai bahan campuran pembuatan bata ringan adalah sebagai berikut:

1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan dan pengujian bata beton maupun pengujian bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Cetakan bata ringan

b. Alat pemeriksaan kadar lumpur pasir
c. Alat pemeriksaam kandungan zat organik pasir
d. Alat pemeriksaan kandungan kadar air pasir
e. Alat pemeriksaan analisa saringan pasir
f. Mixer pembuat *foam agent*
g. Wadah/ember, digunakan untuk tempat mortar.
h. Mesin uji tekan, digunakan untuk menguji kuat tekan bata ringan selular (*cellular lightweight concrete*).
i. Oven, digunakan untuk memanaskan atau mengeringkan benda uji.
j. Timbangan
k. Bohler
l. Penumbuk
m. Mesin pengguncang saringan

2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan bata ringan selular (*cellular lightweight concrete*) adalah sebagai berikut:

a. Semen
b. Pasir
c. Air
d. *Foam agent*
e. *Silica Fume*

E. Prosedur Penelitian

Prosedur dalam penelitian ini dilakukan tahap sebagai berikut:

1. Pengadaan bahan

Pengadaan bahan dilakukan di dalam lingkungan Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain:

a. Semen

Semen portland yaitu menggunakan merk semen PCC (Semen Portland Komposit) yang kondisinya masih baik dan cocok digunakan untuk pembuatan bata ringan CLC.

b. Pasir

Pasir yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir yang diperoleh dari sungai yang merupakan hasil gigisan batu-batuan yang tajam dan keras 0,063-5 mm sehingga merupakan adukan yang baik untuk pekerjaan pasangan yang sudah melalui pemeriksaan kadar lumpur dan analisis saringan agregat halus.

c. *Foam agent*

Foam agent yang digunakan pada penelitian ini adalah *foam agent* yang telah lolos dari SNI pembuatan bahan kimia pembuat bata ringan.

d. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini adalah air PDAM labolatorium jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare.

e. *Silica Fume*

Silica fume yang akan digunakan dalam penilitian ini diperoleh dari penjualan online (Tokopedia), seperti yang terlihat dalam Gambar 3.1 sebagai berikut:

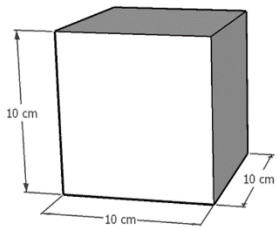
Gambar 3. 1 *Silica Fume*
Sumber: Jual silica fume (www.tokopedia.com)

2. Pengujian material

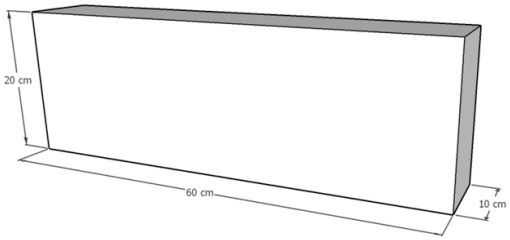
Pada tahapan ini dilakukan pengujian karastristik sebelum melakukan *mix desain,* setelah *mix desain* ditentukan kemudian dilakukan pencampuran sesuai dengan *mix desain* yang telah di tentukan.

F. Tahap Pembuatan Bata Ringan

Pembuatan benda uji dimulai dengan pengujian karakteristik material yang digunakan yaitu pasir, semen, air, dan *silica fume*. Kemudian uji coba pembuatan bata ringan subtitusi agregat halus dengan *silica fume* untuk variasi 0%, 8%, 10%, dan 12% dan penambahan *foam agent* untuk 1 liter *foam agent* dicampur dengan air bersih 40-60 liter dengan normal 50 liter. Bata ringan yang akan dibuat dalam penelitian ini berbentuk kubus yang berukuran 10 x 10 cm seperti terlihat pada **Gambar 3.2** dan bata ringan berbentuk balok yang berukuran 10 x 20 x 60 cm terlihat pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3. 2 Bata ringan berukuran 10 x 10 x 10 cm



Gambar 3. 3 Bata ringan berukuran 10 x 20 x 60 cm

Jumlah bata ringan berbentuk kubus yang akan dibuat adalah 40 sampel. Sedangkan bata ringan berbentuk balok yang akan dibuat adalah 8 sampel. Jadi jumlah keseluruhan bata ringan yang akan dibuat adalah 48 sampel.

Tabel 3. 2 Jumlah sampel dan variasi campuran bata ringan berbentuk kubus

No	**Variasi campuran *silica fume* pada Bata Ringan**	**Jumlah Sampel**	**Umur (Hari)**	**Total (Buah)**
1	0%	10	28 Hari	10
2	8%	10	28 Hari	10
3	10%	10	28 Hari	10
4	12%	10	28 Hari	10
Total Benda uji				40

Tabel 3. 3 Jumlah sampel dan variasi campuran bata ringan berbentuk balok

No	**Variasi campuran *silica fume* pada Bata Ringan**	**Jumlah Sampel**	**Umur (Hari)**	**Total (Buah)**
1	0%	2	28 Hari	2
2	8%	2	28 Hari	2
3	10%	2	28 Hari	2
4	12%	2	28 Hari	2
Total Benda uji				8

Pelaksanaan pembuatan bata ringan penelitian dimulai dari pemeriksaan bahan susun sampai dengan pengujian kuat tekan benda uji. Secara garis besar meliputi:

a. Pengujian karastristik sebelum melakukan *mix desain*, setelah *mix desain* ditentukan kemudian dilakukan pencampuran sesuai dengan *mix desain* yang telah ditentukan.
b. Menimbang dan mempersiapkan bahan-bahan untuk pembuatan beton ringan selular, yaitu : semen portland, pasir, *foam agent*, air dan *silica fume* dengan berat yang telah ditentukan dalam perencanaan campuran bata ringan selular.
c. Semen, pasir, *silica fume* dan air dimasukan ke dalam mixer hingga campuran merata.
d. Busa yang dihasilkan dari *foam generator* perbandingan campuran 1: 40 dan dimasukan kedalam campuran mixer hingga campuran merata.
e. Setelah campuran merata, adonan tersebut dituang ke dalam cetakan yang sudah disiapkan
f. Perawatan, cetakan dibuka setelah dibiarkan selama 12 jam.
g. Keesokan harinya, bukalah cetakan bata ringan tesebut dengan hati-hati. Berikutnya pindahkan hebel-hebel yang masih mentah ini ke tempat pengeringan *(curing area)* yang terbuka namun terhindar dari sinar matahari langsung. Pengujian yaitu umur 28 hari.

G. Tahap Pengujian Kuat Tekan

Sebelum melakukan pengujian kuat tekan perlu diketahui berapa luas penampang benda uji. Berikut adalah perhitungan luas penampang benda uji bata ringan.

Untuk menghitungan luas penampang kubus digunakan persamaan matematis sebagai berikut:

$A = S^2$

Dimana: A = Luas penammpang (cm)

S = Sisi (cm)

Jadi,

$A = S^2$

$= 10^2$

$= 100\ cm^2$

$= 1\ m^2$

Sedangkan untuk menghitungan luas penampang balok digunakan persamaan matematis sebagai berikut:

$A = p \times l$

Dimana: A = Luas penammpang (cm)

p = Panjang (cm)

l = Lebar (cm)

Jadi,

$A = p \times l$

$= 60 \times 10$

= 600 cm²

= 6 m²

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan tahap-tahap sebagai berikut:

1. Siapkan alat dan benda uji.
2. Mesukkan benda uji kedalam mesin uji kuat tekan dengan diapit plat besi dipermukaan atas dan bawah.
3. Nyalakan mesin uji kuat tekan sampai benda uji hancur dan lihat pada nilai pembacaan mesin apabila nilai sudah tidak naik maka matikan alat.
4. Catat nilai yang muncul pada pembacaan alat.
5. Analisis nilai tersebut untuk mendapatkan nilai kuat tekan benda uji.

H. Tahap Pengujian Kuat Lentur

Langkah-langkah pengujian kuat lentur adalah sebagai berikut :

1. Hidupkan mesin uji tekan beton yang telah dipersiapkan, tunggu kira-kira 30 detik.
2. Letakkan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji sehingga siap untuk pengujian.
3. Atur pembebanannya untuk menghindari terjadi benturan.
4. Atur katup-katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan-lahan dan kecepatannya 8 kg/cm^2 - 10 kg/cm^2 tiap menit.
5. Kurangi kecepatan pembebanan pada saat-saat menjelang patah yang ditandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban agak lambat, sehingga tidak terjadi kejut.

6. Hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan patahnya benda uji.
7. Ambil benda uji yang telah selesai diuji, yang dapat dilakukan dengan menurunkan plat perletakan benda uji atau menaikkan alat pembebanannya.
8. Ukur dan catat lebar dan tinggi tampang lintang patah dengan ketelitian 0,25 mm sedikitnya pada 3 tempat dan ambil harga rata-ratanya.
9. Ukur dan catat jarak antara tempang lintang patah dari tumpuan luar terdekat pada 4 tempat di bagian Tarik pada arah bentang dan ambil harga rata-ratanya.

I. Teknik Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif dengan teknik eksperimental. Pelaksanaan uji coba atau testing dikerjakan di Laboratorium Bahan dan Struktur Universitas Muhammadiyah Parepare. Pada tahap pertama secara garis besar adalah sebagai berikut:

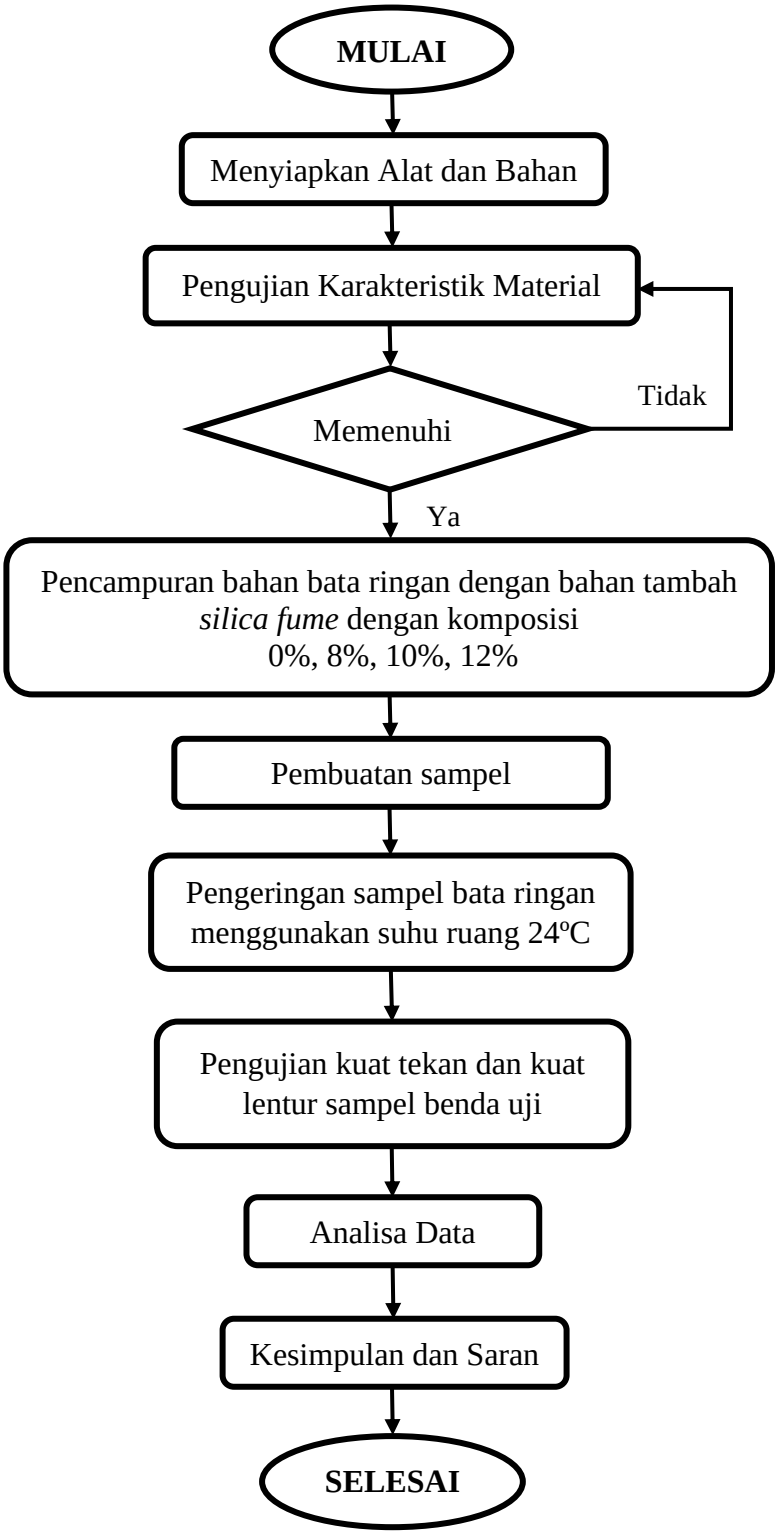
1. Penelitian ini diawali dengan mengumpulkan referensi dari Perpustakaan umum Universitas Muhammadiyah Parepare untuk studi kepustakaan.
2. Pengujian sifat mekanik dari material pembentuk beton ringan yaitu dan agregat halus. Adapun pengujian yang akan dilaksanakan adalah gradasi, kadar air, kadar lumpur dan kekerasan agregat.
3. Perencanaan komposisi campuran (*mix design*) beton ringan yang tepat dan melakukan campuran percobaan (*trial mix*) dalam bentuk kubus
4. Dilakukan pembuatan benda uji pada cetakan berbentuk kubus ditunggu hingga mengering sehingga dapat diambil dari cetakan.

5. Perawatan benda uji dilakukan dengan menggunakan suhu ruangan dengan umur bata beton 28 hari.
6. Dilanjutkan dengan pengujian benda uji dengan alat uji kuat tekan beton dan uji kuat lentur beton sehingga menghasilkan data hasil pengujian atau nilai uji apakah memenuhi atau tidak.

J. Analisis Data

Analisa yang dilakukan dengan membandingkan hasil data kuat tekan dan kuat lentur bata ringan masing-masing jenis campuran melalui grafik sehingga kita dapat mengetahui peringkat yang dihasilkan pada umur rencana. Dari analisis ini kita dapat mengetahui karakteristik kualitas bata ringan masing-masing jenis agregat yang dipengaruhi oleh sifat dari bahan campuran agregat tersebut.

K. Diagram Alir



Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Material

Sebelum memulai tahap perencanaan campuran, langkah pertama adalah melakukan pengujian atau pemeriksaan terhadap material yang akan digunakan untuk membuat bata ringan. Data hasil pengujian dan pemeriksaan material yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian dan Pemeriksaan pada Material Agregat Halus *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
1	Kadar lumpur	Maks 5%	3,62%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	1	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	4,12%	Memenuhi
4	Berat volume			
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1,48	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1,66	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	1,22%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik			
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,61	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,53	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,56	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	2,80	Memenuhi

Dari hasil pengujian tabel di atas untuk pembuatan bata ringan didapatkan kadar lumpur sebesar 3,62%, kadar organik berada pada nomor 1, kadar air sebesar 4,12%, berat volume agregat halus saat kondisi lepas sebesar 1,48 kg/liter dan saat kondisi padat 1,66 kg/liter, absorsi sebesar 1,22%, berat jenis nyata sebesar 2,61, berat jenis dasar kering, berat jenis kering permukaan sebesar 2,56 dan modulus kehalusan sebesar 2,80. Jadi dari hasil pengujian yang didapat yang akan digunakan

sebagai bahan campuran bata ringan, dapat dipakai karena memenuhi standar yang telah ditentukan pada (*SNI 03-2834-2000*).

B. Perencanaan Campuran

Berdasarkan hasil dari *(SNI 03-6825-2002)*, diperoleh komposisi untuk pembuatan mortar kubus dengan ukuran 5x5x5 cm. Dalam penelitian ini, digunakan cetakan untuk benda uji mortar kubus dengan ukuran yang sama, sehingga komposisi yang digunakan akan berbeda sesuai dengan perhitungan berikut.

1. Perhitungan Bata Ringan Berbentuk Kubus

Kebutuhan mortar normal berbentuk kubus *(SNI 03-6825-2002)*, ukuran benda uji 5x5x5cm dengan 6 benda uji.

Volume benda uji = 5 x 5 x 5 = 125 cm³ = 0,125 liter

Semen portlan = 500 gram (W1)

Pasir = 1375 gram (W2)

Air = 242 ml (W3)

Faktor semen $= \frac{\text{Air}}{\text{Semen}}$

$= \frac{242 \text{ gr}}{500 \text{ gr}}$

= 0,48

Kebutuhan mortar normal berbentuk kubus dengan ukuran benda uji 10x10x10 cm (1 benda uji)

Volume benda uji = 10 x 10 x 10 = 1000 cm³ = 1 liter

Nilai perbandingan $= \frac{\text{Volume benda uji A}}{\text{Volume benda uji B}}$

$= \frac{1000\ cm^3}{125\ cm^3}$

= 8,00 (W4)

Kebutuhan semen = W4 x (W1/6)

= 8,00 x 83,333 gr

= 666,667 gr (W5)

Kebutuhan pasir = W4 x (W2/6)

= 8,00 x 229,167 gr

= 1833,333 gr (W6)

Kebutuhan air = W4 x (W3/6)

= 8,00 x 40,333 gr

= 322,667 gr (W7)

Faktor air semen $= \frac{\text{Air}}{\text{Semen}}$

$= \frac{322{,}667\ \text{gr}}{666{,}667\ \text{gr}}$

= 0,484

Volume semen $= \frac{w5}{w5+w6+w7}$ x Vol. benda uji

$= \frac{667{,}667\ \text{gr}}{(667{,}667+1833{,}333+322{,}667)\text{gr}}$ x 1 liter

$= \frac{667{,}667\ \text{gr}}{2822{,}667\ \text{gr}}$ x 1 liter

= 0,236 liter

Volume pasir $= \frac{w6}{w5+w6+w7}$ x Vol. benda uji

$= \frac{1833{,}333\ \text{gr}}{(667{,}667+1833{,}33+322{,}667)\text{gr}}$ x 1 liter

$$= \frac{1833{,}333\ \text{gr}}{2822{,}667\ \text{gr}} \text{ x 1 liter}$$

$$= 0{,}65 \text{ liter}$$

Volume air $$= \frac{w7}{w5+w6+w7} \text{ x Vol. benda uji}$$

$$= \frac{322{,}667\ \text{gr}}{(667{,}667+1833{,}333+322{,}667)\text{gr}} \text{ x 1 liter}$$

$$= \frac{322{,}667}{2822{,}667} \text{ x 1 liter}$$

$$= 0{,}114 \text{ liter}$$

Volume agregat (3 benda uji kubus)

Diketahui :

Semen $$= \frac{\text{Kebutuhan semen}}{(w5+w6+w7)} \text{ x Vol. benda uji}$$

$$= \frac{667{,}667\ \text{gr}}{(667{,}667+1833{,}333+322{,}667)\text{gr}} \text{ x 3 liter}$$

$$= \frac{667{,}667\ \text{gr}}{2822{,}667\ \text{gr}} \text{ x 3 liter}$$

$$= 0{,}709 \text{ liter (W8)}$$

Pasir $$= \frac{\text{Kebutuhan pasir}}{(w5+w6+w7)} \text{ x Vol. benda uji}$$

$$= \frac{1833{,}333\ \text{gr}}{(667{,}667+1833{,}33+322{,}667)\text{gr}} \text{ x 3 liter}$$

$$= \frac{1833{,}333\ \text{gr}}{2822{,}667\ \text{gr}} \text{ x 3 liter}$$

$$= 1{,}949 \text{ liter (W9)}$$

Air $$= \frac{\text{Kebutuhan Air}}{(w5+w6+w7)} \text{ x Vol. benda uji}$$

$$= \frac{322{,}667 \text{ gr}}{(667{,}667+1833{,}333+322{,}667)\text{gr}} \text{ x } 3 \text{ liter}$$

$$= \frac{322{,}667 \text{ gr}}{2822{,}667 \text{ gr}} \text{ x } 3 \text{ liter}$$

$$= 0{,}343 \text{ liter (W10)}$$

1. Persentase dari 0% limbah *silica fume* sebanyak 3 benda uji

   Semen = 2000 gram

   Pasir = 5500 gram

   Air = 968 ml

2. Persentase dari 8% *silica fume* sebanyak 3 benda uji

   Volume *silica fume* $= \frac{8}{100}$ x W8

   $= \frac{8}{100}$ x 0,709 liter

   = 0,0567 liter

   Berat volume *silica fume* = 2,260 kg/l

   Berat kebutuhan *silica fume* = B.V *silica fume* x V. *silica fume*

   = 2,260 kg/l x 0,0567 liter

   = 0,128 kg = 128,087 gram

3. Persentase dari 10% limbah *silica fume* sebanyak 3 benda uji

   Volume *silica fume* $= \frac{10}{100}$ x W8

   $= \frac{10}{100}$ x 0,709 liter

   = 0,071 liter

   Berat volume *silica fume* = 2,260 kg/l

Berat kebutuhan *silica fume* = B.V *silica fume* x V. *silica fume*

= 2,260 x 0,071

= 0,160 kg = 160,109 gram

4. Persentase dari 12% limbah *silica fume* sebanyak 3 benda uji

Volume *silica fume* = $\frac{12}{100}$ x W8

= $\frac{12}{100}$ x 0,709 liter

= 0,085 liter

Berat volume *silica fume* = 2,260 kg/l

Berat kebutuhan *silica fume* = B.V *silica fume* x V. *silica fume*

= 2,260 kg/l x 0,085 cm^3

= 0,192 kg = 192,130 gram

5. Kebutuhan *foam agent* (1 liter *foam agent* dicampur dengan air bersih 40 – 60 L dengan normal 50 L)

Kebutuhan *foam agent* = W7 x Normal *foam agent*

= 0, 968 x $\frac{1 \text{ liter}}{50 \text{ liter}}$

= 19,36 ml

Tabel 4. 2 Komposisi Material pada Bata Ringan dengan Ukuran 10x10x10 cm *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

Variasi	**Semen (gram)**	**Pasir (gram)**	**Air (ml)**	***Foam Agent* (ml)**	***Silica Fume* (gram)**	**Benda Uji**
0%	2000	5500	968	19,36	0	3
8%	2000	5500	968	19,36	128,087	3
10%	2000	5500	968	19,36	160,109	3
12%	2000	5500	968	19,36	192,130	3

2. Perhitungan Bata Ringan Berbentuk Balok

Kebutuhan mortar normal berbentuk *(SNI 03-6825-2002),* ukuran benda uji 5x5x5cm dengan 6 benda uji.

Volume benda uji = 5 x 5 x 5 = 125 cm³ = 0,125 liter

Semen portlan = 500 gram (W1)

Pasir = 1375 gram (W2)

Air = 242 ml (W3)

Faktor air semen $= \frac{\text{Air}}{\text{Semen}}$

$= \frac{242 \text{ gr}}{500 \text{ gr}}$

= 0,48

Kebutuhan mortar normal berbentuk balok dengan ukuran benda uji 60x20x10cm (1 benda uji)

Volume benda uji = 60 x 20 x 10 = 12000 cm³ = 12 liter

Nilai perbandingan $= \frac{\text{Volume benda uji A}}{\text{Volume benda uji B}}$

$= \frac{12000\ cm^3}{125\ cm^3}$

= 96,00 (W4)

Kebutuhan semen = W4 x (W1/6)

= 96,00 x 83,333 gr

= 8000 gr (W5)

Kebutuhan pasir = W4 x (W2/6)

= 96,00 x 229,167 gr

= 22000 gr (W6)

Kebutuhan air = W4 x (W3/3)

= 96,00 x 40,333 gr

= 3872 gr (W7)

Faktor air semen $= \frac{\text{Air}}{\text{Semen}}$

$= \frac{3872\ \text{gr}}{8000\ \text{gr}}$

= 0,484

Volume semen $= \frac{w5}{w5+w6+w7}$ x Vol. benda uji

$= \frac{8000\ \text{gr}}{(8000+22000+3872)\text{gr}}$ x 12 liter

$= \frac{8000\ \text{gr}}{33872\ \text{gr}}$ x 12 liter

= 2,834 liter

Volume pasir $= \frac{w6}{w5+w6+w7}$ x Vol. benda uji

$= \frac{22000\ \text{gr}}{(8000+22000+3872)\text{gr}}$ x 12 liter

$= \frac{22000\ \text{gr}}{33872\ \text{gr}}$ x 12 liter

= 7,794 liter

Volume air $= \frac{w7}{w5+w6+w7}$ x Vol. benda uji

$= \frac{8000\ \text{gr}}{(8000+22000+3872)\text{gr}}$ x 12 liter

$= \frac{3872\ \text{gr}}{33872\ \text{gr}}$ x 12 liter

= 1,372 liter

Volume agregat (3 benda uji balok)

Diketahui :

Semen $= \frac{\text{Kebutuhan semen}}{(w5+w6+w7)}$ x Vol. benda uji

$= \frac{8000\ gr}{(8000+22000+3872)gr}$ x 24 liter

$= \frac{8000\ gr}{33872\ gr}$ x 24 liter

= 5,668 liter (W8)

Pasir $= \frac{\text{Kebutuhan pasir}}{(w5+w6+w7)}$ x Vol. benda uji

$= \frac{22000\ gr}{(8000+22000+3872)gr}$ x 24 liter

$= \frac{22000\ gr}{33872\ gr}$ x 24 liter

= 15,588 liter (W9)

Air $= \frac{\text{Kebutuhan Air}}{(w5+w6+w7)}$ x Vol. benda uji

$= \frac{322{,}667\ gr}{(667{,}667+1833{,}333+322{,}667)gr}$ x 24 liter

$= \frac{322{,}667\ gr}{2822{,}667\ gr}$ x 24 liter

= 2,744 liter (W10)

1. Persentase dari 0% limbah *silica fume* sebanyak 1 benda uji

   Semen = 16000 gram

   Pasir = 44000 gram

Air = 7744 ml

2. Persentase dari 8% *silica fume* sebanyak 2 benda uji

Volume *silica fume* = $\frac{8}{100}$ x W8

= $\frac{8}{100}$ x 5,668 liter

= 0,453 liter

Berat volume *silica fume* = 2,260 kg/l

Berat kebutuhan *silica fume* = B.V *silica fume* x V. *silica fume*

= 2,260 kg/l x 0,453 liter

= 1,025 kg = 1024,696 gram

3. Persentase dari 10% limbah *silica fume* sebanyak 2 benda uji

Volume *silica fume* = $\frac{10}{100}$ x W8

= $\frac{10}{100}$ x 5,668 liter

= 0,567 liter

Berat volume *silica fume* = 2,260 kg/l

Berat kebutuhan *silica fume* = B.V *silica fume* x V. *silica fume*

= 2,260 x 0,567

= 1,281 kg = 1280,870 gram

4. Persentase dari 12% limbah *silica fume* sebanyak 2 benda uji

Volume *silica fume* = $\frac{12}{100}$ x W8

= $\frac{12}{100}$ x 5,668 liter

= 0,680 liter

Berat volume *silica fume* = 2,260 kg/l

Berat kebutuhan *silica fume* = B.V *silica fume* x V. *silica fume*

= 2,260 kg/l x 0,680 liter

= 1,537 kg = 1537,044 gram

5. Kebutuhan *foam agent* (1 liter *foam agent* dicampur dengan air bersih 40 – 60 L dengan normal 50 L)

Kebutuhan *foam agent* = W7 x Normal *foam agent*

$= 7{,}744 \text{ x } \frac{1 \text{ liter}}{50 \text{ liter}}$

= 154,88 ml

Tabel 4. 3 Komposisi Material pada Bata Ringan dengan Ukuran 60x20x10 cm *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

Variasi	**Semen (gram)**	**Pasir (gram)**	**Air (ml)**	***Foam Agent* (ml)**	***Silica Fume* (gram)**	**Benda Uji**
0%	16000	44000	7744	154,88	0	2
8%	16000	44000	7744	19,36	1024,696	2
10%	16000	44000	7744	19,36	1280,870	2
12%	16000	44000	7744	19,36	1537,044	2

C. Kuat Tekan

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah kuat tekan bata ringan. Faktor-faktor yang memengaruhi kuat tekan bata ringan meliputi karakteristik material pembentuk, faktor air semen, metode pengadukan, komposisi campuran bata ringan, jenis mesin pengaduk yang digunakan, serta perawatan selama proses pengerasan. Dalam penelitian ini, kuat tekan bata ringan diuji setelah 28 hari sejak

campuran dituangkan ke dalam cetakan. Setiap pengujian melibatkan 10 sampel dari satu variasi bata ringan, dengan bentuk kubus berukuran 10x10x10 cm. Variasi campuran yang diuji terdiri dari empat variasi, yaitu: bata ringan normal, bata ringan campuran *silica fume* 8%, bata ringan campuran *silica fume* 10%, dan bata ringan. Adapun hasil pengujian kuat tekan yang diperoleh sebagai berikut:

1. Bata Ringan Normal

Berdasarkan hasil penelitian kuat tekan pada bata ringan tanpa campuran *silica fume* yang diperoleh saat pengujian 28 hari adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan normal *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

Sampel No.	Berat Kg	Beban kN	Kuat tekan f'c(MPa)
1	1,558	50	5,000
2	1,541	55	5,500
3	1,531	40	4,000
4	1,553	50	5,000
5	1,222	25	2,500
6	1,345	45	4,500
7	1,400	50	5,000
8	1,550	45	4,500
9	1,535	40	4,000
10	1,455	50	5,000
Rata-rata	**1,469**	**45,00**	**4,500**

Pada pengujian sampel uji pada bata ringan dengan ukuran 10x10x10 cm dengan jumlah sampel 10 buah didapat kuat tekan pada sampel pertama sebesar 5 MPa, sampel kedua sebesar 5,5 MPa, sampel ketiga sebesar 4 MPa, sampel keempat sebesar 5 MPa, sampel kelima sebesar 2,5 MPa, sampel keenam sebesar 4,5 MPa, sampel ketujuh sebesar 5 MPa, sampel kedelapan sebesar 4,5 MPa, sampel

kesembilan sebesar 4 MPa dan sampel kesepuluh sebesar 5 MPa. Kemudian dari semua sampel benda uji diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 4,5 MPa.

Berikut ini adalah rumus dan perhitungan standar deviasi untuk kuat tekan bata ringan, yang bertujuan untuk mengukur tingkat variasi atau konsistensi mutu dari sampel yang diuji:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Dimana: S = Standar deviasi

x_i = Nilai x ke-i

$\bar{x}$ = nilai rata-rata sampel

n = jumlah data sampel

Jadi,

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(5-4{,}5)^2+(5{,}5-4{,}5)^2+(4-4{,}5)^2+(5-4{,}5)^2+(2{,}5-4{,}5)^2+(4{,}5-4{,}5)^2+(5-4{,}5)^2+(4{,}5-4{,}5)^2+(4-4{,}5)^2+(5-4{,}5)^2}{10-1}}$$

$S = 0{,}850$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh nilai standar deviasi sebesar 0,866 menunjukkan tingkat variasi atau penyebaran hasil uji kuat tekan dari sampel bata ringan yang diuji. Dalam hal ini, standar deviasi sebesar 0,850 mengindikasikan bahwa sebagian besar nilai kuat tekan bata ringan yang diuji berada dalam selisih 0,850 dari nilai rata-rata.

2. Bata ringan campuran *silica fume* 8%

Berdasarkan hasil penelitian kuat tekan pada bata ringan campuran *silica fume* 8% yang diperoleh saat pengujian 28 hari adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan dengan Campuran *Silica Fume* 8% *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

Sampel No.	Berat Kg	Beban kN	Kuat tekan f'c(MPa)
1	1,176	20	8,000
2	1,118	15	6,000
3	1,516	40	16,000
4	1,547	40	16,000
5	1,533	35	14,000
6	1,145	20	8,000
7	1,430	40	16,000
8	1,155	25	10,000
9	1,300	35	14,000
10	1,440	20	8,000
Rata-rata	**1,336**	**29,00**	**11,600**

Pada pengujian sampel uji pada bata ringan dengan ukuran 10x10 cm dengan jumlah sampel 10 buah didapat kuat tekan pada sampel pertama sebesar 8 MPa, sampel kedua sebesar 6 MPa, sampel ketiga sebesar 16 MPa, sampel keempat sebesar 16 MPa, sampel kelima sebesar 14 MPa, sampel keenam sebesar 8 MPa, sampel ketujuh sebesar 16 MPa, sampel kedelapan sebesar 10 MPa, sampel kesembilan sebesar 14 MPa dan sampel kesepuluh sebesar 8 MPa. Kemudian dari semua sampel benda uji diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 11,6 MPa.

Berikut ini adalah rumus dan perhitungan standar deviasi untuk kuat tekan bata ringan, yang bertujuan untuk mengukur tingkat variasi atau konsistensi mutu dari sampel yang diuji:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(8-11,6)^2+(6-11,6)^2+(16-11,6)^2+(16-11,6)^2+(14-11,6)^2+(8-11,6)^2+(16-11,6)^2+(10-11,6)^2+(14-11,6)^2+(8-11,6)^2}{10 - 1}}$$

$S = 3,978$

Nilai standar deviasi sebesar 3,978 menunjukkan tingkat variasi atau penyebaran hasil uji kuat tekan dari sampel bata ringan yang diuji. Dalam hal ini, standar deviasi sebesar 3,978 mengindikasikan bahwa sebagian besar nilai kuat tekan bata ringan yang diuji berada dalam selisih 3,978 dari nilai rata-rata.

3. Bata ringan campuran *silica fume* 10%

Berdasarkan hasil penelitian kuat tekan pada bata ringan campuran *silica fume* 10% yang diperoleh saat pengujian 28 hari adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan dengan Campuran *Silica Fume* 10% *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

Sampel No.	Berat Kg	Beban kN	Kuat tekan f'c(MPa)
1	1,227	15	6,000
2	1,276	20	8,000
3	1,548	40	16,000
4	1,628	45	18,000
5	1,549	40	16,000
6	1,280	15	6,000
7	1,535	25	10,000
8	1,400	35	14,000
9	1,305	30	12,000
10	1,420	40	16,000
Rata-rata	**1,417**	**30,50**	**12,200**

Pada pengujian sampel uji pada bata ringan dengan ukuran 10x10 cm dengan jumlah sampel 10 buah didapat kuat tekan pada sampel pertama sebesar 6 MPa, sampel kedua sebesar 8 MPa, sampel ketiga sebesar 16 MPa, sampel keempat sebesar 18 MPa, sampel kelima sebesar 16 MPa, sampel keenam sebesar 6 MPa, sampel ketujuh sebesar 10 MPa, sampel kedelapan sebesar 14 MPa, sampel kesembilan sebesar 12 MPa dan sampel kesepuluh sebesar 16 MPa. Kemudian dari semua sampel benda uji diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 12,2 MPa.

Berikut ini adalah rumus dan perhitungan standar deviasi untuk kuat tekan bata ringan, yang bertujuan untuk mengukur tingkat variasi atau konsistensi mutu dari sampel yang diuji:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(6-12,2)^2+(8-12,2)^2+(16-12,2)^2+(18-12,2)^2+(16-12,2)^2+(6-12,2)^2+(10-12,2)^2+(14-12,2)^2+(12-12,2)^2+(16-12,2)^2}{10-1}}$$

S = 4,467

Nilai standar deviasi sebesar 4,467 menunjukkan tingkat variasi atau penyebaran hasil uji kuat tekan dari sampel bata ringan yang diuji. Dalam hal ini, standar deviasi sebesar 4,467 mengindikasikan bahwa sebagian besar nilai kuat tekan bata ringan yang diuji berada dalam selisih 4,467 dari nilai rata-rata.

4. Bata ringan campuran *silica fume* 12%

Berdasarkan hasil penelitian kuat tekan pada bata ringan campuran *silica fume* 12% yang diperoleh saat pengujian 28 hari adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan dengan Campuran *Silica Fume* 12% *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

Sampel No.	**Berat Kg**	**Beban kN**	**Kuat tekan f'c(MPa)**
1	1,499	40	16,000
2	1,528	45	18,000
3	1,598	75	30,000
4	1,517	30	12,000
5	1,540	35	14,000
6	1,590	65	26,000
7	1,575	45	18,000
8	1,530	70	28,000
9	1,510	75	30,000
10	1,530	50	20,000
Rata-rata	**1,542**	**53,00**	**21,200**

Pada pengujian sampel uji pada bata ringan dengan ukuran 10x110x0 cm dengan jumlah sampel 10 buah didapat kuat tekan pada sampel pertama sebesar 16 MPa, sampel kedua sebesar 18 MPa, sampel ketiga sebesar 30 MPa, sampel keempat sebesar 12 MPa, sampel kelima sebesar 14 MPa, sampel keenam sebesar 26 MPa, sampel ketujuh sebesar 18 MPa, sampel kedelapan sebesar 28 MPa, sampel kesembilan sebesar 30 MPa dan sampel kesepuluh sebesar 20 MPa. Kemudian dari semua sampel benda uji diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 21,2 MPa.

Berikut ini adalah rumus dan perhitungan standar deviasi untuk kuat tekan bata ringan, yang bertujuan untuk mengukur tingkat variasi atau konsistensi mutu dari sampel yang diuji:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(16-21,2)^2+(18-21,2)^2+(30-21,2)^2+(12-21,2)^2+(14-21,2)^2+(26-21,2)^2+(18-21,2)^2+(28-21,2)^2+(30-21,2)^2+(20-21,2)^2}{10-1}}$$

$$S = 6,746$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh nilai standar deviasi sebesar 6,746 menunjukkan tingkat variasi atau penyebaran hasil uji kuat tekan dari sampel bata ringan yang diuji. Dalam hal ini, standar deviasi sebesar 6,746 mengindikasikan bahwa sebagian besar nilai kuat tekan bata ringan yang diuji berada dalam selisih 6,746 dari nilai rata-rata.

Semakin kecil nilai standar deviasi, semakin seragam hasil kuat tekan dari bata ringan tersebut, yang berarti kualitas produksinya konsisten. Sebaliknya, jika nilai standar deviasi besar, ini menunjukkan adanya variasi yang lebih signifikan

dalam kualitas bata ringan, yang bisa disebabkan oleh ketidaksesuaian dalam proses produksi atau bahan baku. Nilai ini penting untuk memastikan bahwa produk memenuhi standar kualitas yang diinginkan dan dapat diandalkan penggunannya.

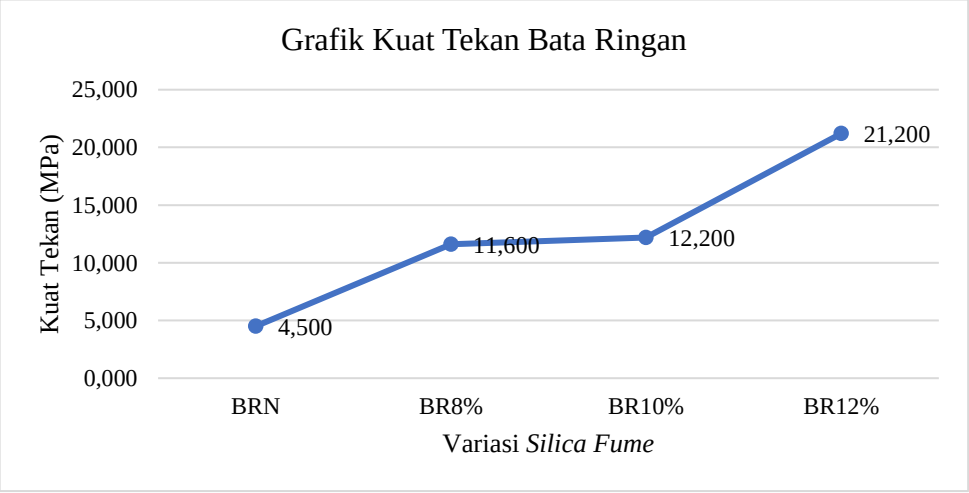
5. Hasil Rekapitulasi Kuat Tekan Bata Ringan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengujian kuat tekan dengan penambahan silica fume pada bata ringan, diperoleh rata-rata kuat tekan sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan pada Bata Ringan *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

Umur	Variasi	Rata-Rata		
		Berat (Kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)
28 Hari	0%	1,469	45,000	4,500
	8%	1,336	29,000	11,600
	10%	1,417	30,500	12,200
	12%	1,542	53,000	21,200

Berikut adalah grafik pengaruh penambahan *silica fume* pada bata ringan terhadap kuat tekan:



Gambar 4. 1 Grafik Rekapitulasi Kuat Tekan Bata Ringan *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

Grafik di atas menunjukan bahwa pada variasi bata ringan normal (tanpa penambahan *silica fume*) menghasilkan kuat tekan dengan nilai rata-rata sebesar 4,5 MPa. Pada setiap penambahan bahan campuran *silica fume* nilai kuat tekan pada bata ringan mengalami peningkatan. Pada variasi *silica fume* 8% dari berat semen menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 11,6 MPa. Variasi *silica fume* 10% dari berat semen menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 12,2 MPa dan variasi *silica fume* 12% dari berat semen menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 21,2 MPa. Dalam pengujian ini kuat tekan maksimum terjadi pada variasi *silica fume* pada campuran bata ringan sebesar 12% dari berat semen. Dengan demikian penambahan *silica fume* pada campuran dapat menaikkan kuat tekan bata ringan dibandingkan dengan bata ringan tanpa penambahan *silica fume.*

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.1** diketahui terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 158% atau 7,1 MPa dari kuat tekan bata ringan normal pada variasi BR8%, pada variasi BR10% terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 171% atau 7,7 MPa dari kuat tekan bata ringan normal dan pada variasi BR12% terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 371% atau 16,7 MPa dari kuat tekan bata ringan normal. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan penambahan *silica fume* dapat meningkatkan kuat tekan bata ringan.

D. Kuat Lentur

Setelah melalui proses pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat lentur terhadap benda uji tersebut. Pengujian kuat lentur dilakukan pada saat berumur 28 hari dengan menggunakan benda uji berupa balok dengan ukuran panjang 60x20x10 cm. Setiap pengujian digunakan 2 buah sampel

dalam 1 (satu) variasi bata ringan. Variasi campuran bata ringan terdiri dari 4 variasi, yaitu bata ringan normal, bata ringan campuran *silica fume* 8%, bata ringan campuran *silica fume* 10%, dan bata ringan campuran *silica fume* 12%. Kemudian setiap benda uji yang akan diuji kuat lentur beton ditimbang terlebih dahulu.

Adapun hasil pengujian kuat lentur yang diperoleh sebagai berikut:

1. Bata ringan normal

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian terhadap bata ringan normal dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari hasil kuat lentur yang diperoleh yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Kuat Lentur Bata Ringan normal *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

No.	Umur Hari	Berat Kg	Beban KN	L (mm)	b (mm)	d (mm)	Kuat Lentur (MPa)
1	28	18,430	7	600	200	100	2,228
2	28	18,640	8	600	200	100	2,327
Rata-rata		**18,535**	**7,254**				**2,176**

Pada pengujian sampel uji pada bata ringan dengan ukuran 60x20x10 cm dengan jumlah sampel 2 buah didapat kuat tekan pada sampel pertama sebesar 2,228 MPa dan sampel kedua sebesar 2,327 MPa. Kemudian dari semua sampel benda uji diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 2,176 MPa.

2. Bata ringan campuran *silica fume* 8%

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian terhadap bata ringan campuran *silica fume* 8% dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari hasil kuat lentur yang diperoleh yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Kuat Lentur Bata Ringan dengan Campuran *Silica Fume* 8% *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

No.	Umur Hari	Berat Kg	Beban kN	L (mm)	b (mm)	d (mm)	Kuat Lentur (MPa)
1	28	18,230	10	600	200	100	3,004
2	28	19,490	12	600	200	100	3,555
Rata-rata		**18,860**	**10,931**				**3,279**

Pada pengujian sampel uji pada bata ringan dengan ukuran 60x20x10 cm dengan jumlah sampel 2 buah didapat kuat tekan pada sampel pertama sebesar 3,004 MPa dan sampel kedua sebesar 3,555 MPa. Kemudian dari semua sampel benda uji diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 3,279 MPa.

3. Bata ringan campuran *silica fume* 10%

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian terhadap bata ringan campuran *silica fume* 8% dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari hasil kuat lentur yang diperoleh yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kuat Lentur Bata Ringan dengan Campuran *Silica Fume* 10% *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

No.	Umur Hari	Berat Kg	Beban kN	L (mm)	b (mm)	d (mm)	Kuat Lentur (MPa)
1	28	19,330	13	600	200	100	4,031
2	28	18,950	12	600	200	100	3,679
Rata-rata		**19,140**	**12,850**				**3,855**

Pada pengujian sampel uji pada bata ringan dengan ukuran 60x20x10 cm dengan jumlah sampel 2 buah didapat kuat tekan pada sampel pertama sebesar 4,031 MPa dan sampel kedua sebesar 3,679 MPa. Kemudian dari semua sampel benda uji diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 3,855 MPa.

4. Bata ringan campuran *silica fume* 12%

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian terhadap bata ringan campuran *silica fume* 8% dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari hasil kuat lentur yang diperoleh yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan dengan Campuran *Silica Fume* 12% *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

No.	Umur Hari	Berat Kg	Beban kN	L (mm)	b (mm)	d (mm)	Kuat Lentur (MPa)
1	28	17,740	17	600	200	100	5,203
2	28	17,720	14	600	200	100	4,249
Rata-rata		**17,730**	**15,753**				**4,726**

Pada pengujian sampel uji pada bata ringan dengan ukuran 60x20x10 cm dengan jumlah sampel 2 buah didapat kuat tekan pada sampel pertama sebesar 5,023 MPa dan sampel kedua sebesar 4,249 MPa. Kemudian dari semua sampel benda uji diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 4,726 MPa.

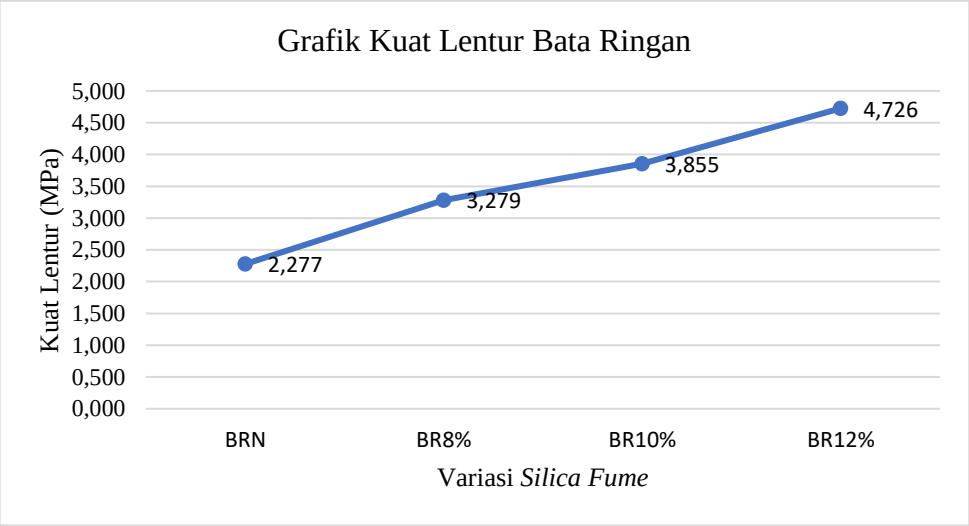
5. Hasil Rekapitulasi Kuat Lentur Bata Ringan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengujian kuat lentur dengan penambahan silica fume pada bata ringan, diperoleh rata-rata kuat lentur sebagai berikut:

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Lentur pada Bata Ringan *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

Umur	Variasi	Rata-Rata		
		Berat (Kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)
28 Hari	0%	18,535	7,592	2,277
	8%	18,860	10,931	3,279
	10%	19,140	12,850	3,855
	12%	17,730	15,753	4,726

Berikut adalah grafik pengaruh penambahan *silica fume* pada bata ringan terhadap kuat lentur:



Gambar 4. 2 Grafik Kuat Lentur Bata Ringan *(Sumber: Hasil Olah Data 2024)*

Berdasarkan grafik di atas menunjukan bahwa pada variasi bata ringan normal menghasilkan kuat lentur dengan nilai rata-rata sebesar 2,277 MPa. Pada setiap penambahan bahan campuran *silica fume* nilai kuat lentur pada bata ringan mengalami peningkatan. Pada variasi *silica fume* 8% dari berat semen ke dalam campuran mortar menghasilkan kuat lentur rata-rata sebesar 3,279 MPa. Variasi *silica fume* 10% dari berat semen ke dalam campuran mortar menghasilkan kuat lentur rata-rata sebesar 3,855 MPa dan variasi *silica fume* 12% dari berat semen ke dalam campuran mortar menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 4,726 MPa. Dalam pengujian ini kuat tekan maksimum terjadi pada variasi *silica fume* pada campuran bata ringan sebesar 12% dari berat semen. Dengan demikian nilai kuat lentur maksimum terdapat pada bata ringan campuran *silica fume* 12%. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan penambahan *silica fume* dapat meningkatkan kuat lentur bata ringan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan sifat mekanis kuat tekan dan kuat lentur bata ringan dengan tambahan *silica fume*, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil penelitian ini, nilai pengujian kuat tekan bata ringan dengan campuran *silica fume* pada umur 28 hari dengan variasi 0% sebesar 4,500 Mpa, variasi 8% sebesar 11,600 Mpa, variasi 10% sebesar 12,200 Mpa dan pada variasi 12% sebesar 21,200 Mpa. Hal ini menyatakan bahwa semakin banyak *silica fume* yang ditambahkan pada proses pembuatan bata ringan maka semakin meningkat kuat tekan yang dihasilkan.
2. Berdasarkan hasil penelitian kuat lentur pada umur 28 hari bata ringan dengan campuran *silica fume* pada umur 28 hari dengan variasi 0% sebesar 2,277 Mpa, variasi 8% sebesar 3,279 Mpa, variasi 10% sebesar 3,855 Mpa dan pada variasi 12% sebesar 4,726 Mpa. Hal ini menyatakan bahwa semakin banyak *silica fume* yang ditambahkan pada proses pembuatan bata ringan maka semakin meningkat kuat lentur yang dihasilkan.

B. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut mengenai bata ringan, penulis merekomendasikan:

1. Melakukan analisis lebih mendalam mengenai mekanisme peningkatan kuat tekan dan kuat lentur dengan penambahan *silica fume*. Jelaskn bagaimana *silica fume*
2. Melakukan analisis lebih mendalam mengenai mekanisme peningkatan kuat tekan dan kuat lentur dengan penambahan *silica fume*. Jelaskan bagaimana *silica fume* berinteraksi dengan bahan lain dalam bata ringan.
3. Melakukan pertimbangan untuk menambahkan variasi persentase *silica fume* yang lebih kecil atau lebih besar untuk melihat batas optimal dari penambahan *silica fume*.
4. Melakukan perbandingan hasil penelitian *silica fume* dengan material bata ringan lainnya yang menggunakan bahan tambahan berbeda, seperti *fly ash* atau slag, untuk melihat keunggulan dan kelemahan *silica fume*.

DAFTAR PUSTAKA

Afif, M. (2013). Pengaruh Penambahan Silika fume dan SuperPlasticizer dengan Pemakaian Semen Tipe PPC dan Tipe PCC Terhadap Peningkatan mutu Beton. *Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang*.

Andriani, A., Yuliet, R., & Fernandez, F. L. (2012). Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit Terhadap Nilai Cbr Tanah. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, *8*(1), 29. https://doi.org/10.25077/jrs.8.1.29-44.2012

Arman, A. (2018). Kajian Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Standar SNI 7656-2012 Dan Astm C 136-06. *Rang Teknik Journal*, *1*(2). https://doi.org/10.31869/rtj.v1i2.760

ASTM-C1240-20. (n.d.). *Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitous Mixtures.pdf*.

Bella, R. A., Pah, J. J. S., & Ratu, A. G. (2017). Perbandingan Presentase Penambahan Fly Ash terhadap Kuat Tekan Bata Ringan Jenis CLC. *Jurnal Teknik Sipil*, *VI*(2), 199–204.

Chung, O. (2019). Silica Fume User's Manual Second Edition. In *Taiwan Review* (Vol. 69, Issue 4).

Dika, M. R. E., Suryanita, R., & Maizir, H. (2019). Analisis Studi Eksperimental Sifat Mekanik Bata Ringan (Cellular Lightweight Concrete) Akibat Pembebanan Displacement Control. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, *6*. https://jnse.ejournal.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/23254

Felix, H. (2010). Studi Perbandingan Biaya Material Pekerjaan Pasangan Dinding Bata Ringan dengan Bata Merah. *Nucl. Phys.*, *13*(1), 104–116.

Karijanto, M. A., & Wijaya, A. R. (2017). *Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan dan Tarik Perekat Bata Ringan*. 1–8.

Kusumo, L. A. D. (2013). *Pengaruh Penambahan Serat Baja Lokal (Kawat Bendrat) Pada Beton Memadat Mandiri (Self Compacting Concrete)*. *1*, 1–64.

Majid, A., Rohman, A., & Isda, R. R. (2018). Desain Bahan Dasar Campuran Bata Ringan dari Limbah Tambang Emas Pongkor. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, *17*(1), 09. https://doi.org/10.26874/jt.vol17no1.45

Pratama, A. R., Reni Suryanita, & Ismediyanto. (2019). Simulasi Sifat Termal Bata

Ringan Celullar Lightweight Concrete Menggunakan LUSAS V.17. *Sainstek (e-Journal)*, *7*(2), 55–61. https://doi.org/10.35583/js.v7i2.17

Purwanto, P., & Priastiwi, Y. A. (2012). Pengaruh Kadar Lumpur pada Agregat Halus Dalam Mutu Beton. *Universitas Diponegoro*, *33*, 46–52. P Purwanto, YA Priastiwi - Teknik, 2012 - ejournal.undip.ac.id

Salain, I. M. (2009). Pengaruh Jenis Semen dan Jenis Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton. *Teknologi Dan Kejuruan*, *32*(1), 63–71. http://journal.um.ac.id/index.php/teknologi-kejuruan/article/viewFile/3079/439

Samsul, S., Mustakim, M., & Kasmaida, K. (2023). Pengaruh Ukuran Butir Agregat Kasar Terhadap Kapasitas Kuat Tekan Dan Nilai Slump Beton Porous. *Jurnal Karajata Engineering*, *3*(2), 124–127. https://doi.org/10.31850/karajata.v3i2.2713

Solikin, M., Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., Surakarta, U. M., & Tengah, J. (2018). Analisis Sifat Mekanis Bata Beton Ringan dengan Variasi Pemakaian Foam Agent. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 65–70.

Subagiono, Y., Maizir, H., & Suryanita, R. (2020). Perilaku Mekanik Bata Ringan dengan Penambahan Silica Fume. In *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)* (Vol. 16, Issue 3, p. 194). https://doi.org/10.25077/jrs.16.3.194-204.2020

Sujatmiko, B., Zuraidah, S., Hastono, K. B., & Mahendra, R. (2016). Pemanfaatan Limbah Styrofoam Untuk Bahan Bata Ringan Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah. *Universitas Widya Kartika Surabaya*, *19*(5), 1–23.

Sumajouw, A. J., Pandaleke, R., & Wallah, S. E. (2018). Perbandingan Kuat Tekan Menggunakan Hammer Test Pada Benda Uji Portal Beton Bertulang Dan Menggunakan Mesin Uji Kuat Tekan Pada Benda Uji Kubus. *Jurnal Sipil Statik*, *6*(11), 941–948.

Suryanita, R. (2020). Perilaku Mekanik Bata Ringan Cellular Lightweight Concrete (CLC) dengan Campuran Silica Fume. In *UR Press Pekanbaru* (Vol. 1999, Issue December, pp. 1–137).

Sutriono, B., Trimurtiningrum, R., & Rizkiardi, A. (2018). Pengaruh Silica Fume sebagai Subtitusi Semen terhadap Nilai Resapan dan Kuat Tekan Mortar (Hal. 12-21). In *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil* (Vol. 4, Issue 4, p. 12). https://doi.org/10.26760/rekaracana.v4i4.12

Tarru, R. O. (2018). Studi Penggunaan Silica Fume Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Beton. *Journal Dynamic Saint*, *3*(1), 472–485. https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v3i1.271

Taufik, H., Kurniawandy, A., & Arita, D. (2017). Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan

Menggunakan Bahan Tambah Foaming Agent. *Jurnal Saintis*, *17*(April), 52–62. https://journal.uir.ac.id/index.php/saintis/article/view/1765/1097

Trinugroho, S., & Murtono, A. (2015). Pemanfaatan Foam Agent Dan Material Lokal Dalam Pembuatan Bata Ringan. *Seminar Nasional Teknik Sipil*, 49–58.

Widnyana, I. P. A., Hariyadi, & Kenacanawati, N. N. (2018). *Pengaruh Penggunaan Pasir dan Silica Fume Pada Campuran Bahan Terhadap Kinerja Beton Berpori*.

Widyastana, A. A. G. A. O. (2018). Pengaruh Penggunaan Silica Fume dan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Porous yang Menggunakan RCA (Recycle Coarse Aggregate). *Jurusan Teknik Sipil*. http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/article/view/689

Yue, Y., Wang, J., & Bai, Y. (2022). Tracing the Status of Silica Fume in Cementitious Materials Subjected to Deterioration Mechanisms with Raman Microscope. In *Materials* (Vol. 15, Issue 15, p. 5195). MDPI. https://doi.org/10.3390/ma15155195

Zulapriansyah, R., Suryanita, R., & Maizir, H. (2020). Komposisi Optimal Campuran Bata Ringan Silica Fume Berdasarkan Kuat Tekan. In *Sainstek (e-Journal)* (Vol. 8, Issue 2, pp. 49–55). https://doi.org/10.35583/js.v8i2.119